Lane Medical Library

Aus dem Physiologischen Institut der Universität München
Direktor: Geheimrat Professor Dr. Otto Frank

Die Leistungen der optischen Registrierung.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und vorgelegt einer
Hohen medizinischen Fakultät
der Bayr. Ludwig-Maximilians-Universität in München
von

Alexander Frhr. v. Danckelman
aus Montevideo

München 1926
Universitäts-Buchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn

Aus dem Physiologischen Institut der Universität München
Direktor: Geheimrat Professor Dr. Otto Frank

Die Leistungen der optischen Registrierung.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und vorgelegt einer
Hohen medizinischen Fakultät
der Bayr. Ludwig-Maximilians-Universität in München
von

Alexander Frhr. v. Danckelman
aus Montevideo

München 1926
Universitäts-Buchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: *Geh.-Rat Prof. Dr. Otto Frank.*

Tag der mündl. Prüfung: 18. II. 26.

Die Leistungen der optischen Registrierung hängen wesentlich ab von der dazu verwendeten optischen Apparatur. Sie sind bestimmt durch die allgemeinen Gesetze der Optik. Ich beschreibe im folgenden die Methoden, die im Physiologischen Institut München auf Grund dieser Gesetze in langjähriger Arbeit entwickelt worden sind. Die abschließenden Versuche sind im Jahre 1924/25 von mir ausgeführt worden.

I. Kapitel.

Die physiologischen Voraussetzungen für die Beurteilung der Leistung der optischen Registrierung.

Das Grundgesetz für die Beurteilung ist das Weber-Fechnersche Gesetz. Die beste Behandlung ist in einem fast vergessenen Abschnitt der Helmholtzschen Physiologischen Optik enthalten. Ich gebe sie hier in einer nicht ganz gewöhnlichen Form.

Die Fechnersche Formel

$$E = A \log R + C,$$

worin E die Empfindungsstärke, R die Intensität und A und C Konstante bedeuten, gibt die Verhältnisse nicht richtig wieder. Denn nach dieser Formel müßte die Empfindung mit wachsender Lichtintensität über alle Grenzen wachsen. Zweifellos erreicht aber für große Werte von R die Empfindungsstärke ein Maximum. Für diesen Wert muß sein

$$\frac{dE}{dR} = 0 \text{ für } R = \infty.$$

Helmholtz setzt

$$dE = \frac{a\,dR}{(b + R)(R_0 + R)} \quad \text{statt} \quad \frac{A\,dR}{R_0 + R}$$

(Helmholtz schreibt H statt R, „Helligkeit“ a, b Konstante.) R_0 soll die Reizung durch innere Einflüsse bedeuten, entsprechend

dem Eigenlicht der Retina, $R_0 + R$ ist der Reiz, dR der Helligkeitszuwachs. Ausgeführt ist

$$E = \frac{a}{b - R_0} \log \left(\frac{R_0 + R}{b + R} \right) + C.$$

Die Funktion $R \cdot \frac{dE}{dR} = \frac{aR}{(b + R)(R_0 + R)}$, von Helmholtz die Empfindlichkeit genannt, hat bei $R = \sqrt{b R_0}$ ein Maximum, während Fechners Ansatz

$$R \cdot \frac{dE}{dR} = \text{const.}$$

ergibt.

Die eingehendste Prüfung der Fechnerschen Formel haben König und Brodhun veröffentlicht in Sitzber. d. Kgl. Preuß. Akademie der Wissensch. 1888, 2. Halbb. S. 917—931. Sie finden die wirkliche Abhängigkeit der Empfindung von der Reizstärke im wesentlichen für verschiedene Wellenlängen gleich, die Fechnersche Formel aber nur in einem mittleren Intensitätsbereich richtig, wie schon Helmholtz geschlossen hatte. Mit anderen Worten, die Größe $\frac{dR}{R}$ oder besser $\frac{\Delta R}{R}$, um anzudeuten, daß das Auftreten dieser „Unterschiedsschwelle“ eine Unstetigkeit bedeutet, ist von R abhängig. Merkwürdigerweise gehen die beiden Autoren auf die Helmholtzsche Formulierung nicht ein.

Das rationelle Maß für die Unterschiedsschwelle ist auch im Gebiet des Gesichtssinnes $\frac{\Delta R}{R}$ und nicht ΔR, denn in diesem Maß würde die Inkonstanz noch wesentlich größer. Nach unserer Festsetzung ist die Unterschiedsschwelle eine reine Zahl, im allgemeinen ein echter Bruch. Trägt man auf einer Geraden die Werte $\log R$ ab, so stellt eine bestimmte Strecke den Logarithmus des Verhältnisses von je zwei Reizstufen dar, die eben noch als verschieden erkannt werden, vorausgesetzt, daß $\frac{\Delta R}{R}$ konstant ist — d. h. daß das Fechnersche Gesetz gilt — und ΔR

klein ist. Dies gilt also nicht für den Anfang wo $R = 0$ ist; hier wird Fechners Kurve ebenso unbrauchbar, wie für $R = \infty$. Nun ist aber nach den Messungen von König und Brodhun $\frac{\Delta R}{R}$ kein gleichbleibendes Maß für die Unterschiedsschwelle; man muß daher einen bestimmten Wert verabreden. Es geben an (nach Kries in Nagels Handbuch): Arago $^1/_{130}$, Masson $^1/_{120}$, Volkmann $^1/_{100}$, Helmholtz $^1/_{167}$, Aubert $^1/_{186}$, wesentlich niedriger als König-Brodhun, die die minimale Unterschiedsschwelle zu $^1/_{57,4}$ fanden. Bedauerlicherweise sind die absoluten Intensitäten der Beleuchtung ihrer Arbeit nur schwer zu entnehmen. Zweifellos hängt die Unterschiedsschwelle auch von der Größe der Felder ab, sie wird bei sehr kleinen Flächen merklich geringer. Sehr wesentlich ist außerdem die Schärfe der Trennungslinie. Dies sind die hauptsächlichsten physiologischen Gesichtspunkte zur Beurteilung der Leistung der optischen Registrierung.

II. Kapitel.

Photometrische Grundbegriffe.

Unter einer Lichtröhre versteht man die vierfach unendliche Mannigfaltigkeit von Lichtstrahlen, die in einem ganz von Strahlen erfüllten Raum um einen Strahl verlaufen. Eine solche Röhre kann beliebig verbogen oder geknickt werden, nur darf sie sich nicht teilen, aus einem Strahl dürfen nicht zwei werden. Die strahlende Energie, die sogenannte Lichtmenge, die in ihr geführt wird, ist von Absorption abgesehen konstant. Das Auge empfindet aber den Lichtstrom Φ, das ist die Lichtmenge, die in der Zeiteinheit die Röhre durchfließt, eine Größe, die also etwa in Watt zu messen ist. Von der leuchtenden Fläche F_1 führt die Lichtröhre der beleuchteten F_2 den Lichtstrom zu

$$d\Phi = G \cdot d\omega \cdot dF_1 \cdot \cos\vartheta.$$

Hierin ist ϑ der Winkel der Normalen von F_1 gegen die Richtung der Röhre; ω die Öffnung oder der Raumwinkel der Strahlen, d. h. ein Kegel, dessen Spitze dF_1, dessen Basis F_2 ist und

dessen Größe durch das Flächenstück (in mm^2) gemessen wird, das er aus der Einheitskugel ($r = 1$ m) herausschneidet. G ist der von der Flächeneinheit in den Raumwinkel 1 ausgestrahlte Lichtstrom, er wird als Glanz oder Flächenhelle bezeichnet.

Für die hier verfolgten Zwecke sind Vereinfacherungen statthaft. Zunächst sehen wir G als auf der Leuchtfläche konstant an, d. h. wir ziehen nur den mittleren Glanz in Betracht, ferner soll G auch von ϑ unabhängig sein, eine Annahme, die streng nur für den schwarzen Körper, für die praktisch vorkommenden Lichtquellen aber ebenfalls sehr annähernd gilt. Weiterhin setzen wir künftig $\cos \vartheta = 1$, weil sich ϑ genügend klein machen läßt, und schließlich ist die Formulierung vollkommen hinreichend

$$\Phi = G \cdot \omega \cdot F_1, \quad \omega = \frac{F_2}{r^2}.$$

Die Berechtigung hierzu ergibt sich aus der Tatsache, daß in den kleinen Raumwinkeln, die wir benutzen, die Lichtverteilung genügend gleichmäßig ist.

Vom Lichtstrom leiten sich noch zwei wichtige Begriffe ab, mit denen wir im folgenden fast ausschließlich arbeiten. Unter Intensität J einer Lichtquelle ist der Lichtstrom zu verstehen, der in den Raumwinkel 1 ausstrahlt: $J = \frac{\Phi}{\omega} = G \cdot F$. Sie ist im großen von der Richtung abhängig, innerhalb der im folgenden verwerteten kleinen Winkel praktisch gleichmäßig. Einheit ist die Hefnerkerze HK.

Beleuchtung (Lichtdichte) heißt der Strom, der die Flächeneinheit durchsetzt: $B = G \cdot \omega = \frac{J\omega}{F} = \frac{J}{r^2}$. B und G sind von gleicher Dimension. Die Beleuchtung einer Fläche, deren Normale mit der Strahlenrichtung einen Winkel bildet, ist dem Kosinus dieses Winkels proportional. Einheit ist das Lux, die Beleuchtung, die 1 HK in 1 m Entfernung bewirkt.

Im Gegensatz zum Auge summiert die photographische Platte die einfallende Lichtenergie, es sind also die Lichtmengen wirksam. Den Zusammenhang zwischen Lichtmenge und erzielter Schwärzung gibt man im Einzelfall durch die Schwärzungs-

kurve, indem man als Abszisse $\log B \cdot t$, als Ordinaten die erzielten Schwärzungen nimmt. Diese Kurve beginnt plötzlich an einer Schwelle, ist zunächst schwach nach oben konkav, steigt dann stärker ziemlich geradlinig an und wird schließlich nach oben konvex. Sie fällt aber verschieden aus, je nachdem man B allein oder t oder beide variiert. Nach dem Schwarzschildschen Gesetz müssen die Lichtmengen, um gleiche Schwärzung zu erzielen, die Bedingung erfüllen $Bt^p = \text{const}$, wo $p < 1$ und im geradlinigen Stück der Schwärzungskurve konstant ist; in Worten, schwächere Lichtströme werden schlechter ausgenutzt. Dies Gesetz gilt aber nicht immer, z. B. nicht bei rasch intermittierender Belichtung. Überdies hängt die Schwärzung — immer bei gleicher Entwicklung — auch noch von der Größe des belichteten Teiles ab. Sehr störend sind die örtlichen Verschiedenheiten der Empfindlichkeit auf ein und derselben Platte infolge verschiedener Schichtdicke; sie zwingen, nicht zu große und möglichst nah beieinander gelegene Felder zu verwerten. Trotzdem ist man nicht vor Ausreißern in einer Versuchsreihe sicher.

Für die Wirkung verschiedener Lichtquellen ist ihre spektrale Energieverteilung und die verschiedene spektrale Empfindlichkeit der verschiedenen Schichten maßgebend. Die Lichtqualität eines Lampentyps ist fast unabhängig von der Größe der leuchtenden Flächen und damit von der Intensität. Sie ist also durch den aktinischen Glanz charakterisiert.

Als Standards der Lichtqualität dienen im hiesigen Institut ein- und fünfkerzige Normal-Osramlampen der Osram-Gesellschaft, deren Betriebsspannung bis auf 0,01 Volt festgelegt ist. 1 HK geliefert von diesen Lampen, wird als Einheit der aktinischen Intensität für jede Schicht festgesetzt.

Es sind demnach zwei Grundaufgaben zu lösen, die Glanzbestimmung der verschiedenen Lichtquellen (Bogenlampe, Wolfram-Punktlampe, Nitralampe, und zwar einer eindrähtigen Form für 8 Volt Klemmenspannung, und Osramlampen) bezüglich der benötigten photographischen Schichten und deren Qualitätsbestimmung, die ihren Ausdruck im wesentlichen in der Schwärzungskurve findet.

III. Kapitel.

Methoden zur Feststellung der optischen Größen.

Das Prinzip der Messungsmethoden dieses Abschnitts besteht darin, die Schwärzungen zu vergleichen, die verschiedenen Lichtquellen auf der gleichen Schicht oder dieselbe Lichtquelle auf verschiedenen Schichten hervorrufen und zwar bei konstant gehaltener Belichtungszeit, um das Schwarzschildgesetz nicht berücksichtigen zu müssen. Einfach festzustellen ist aber nur die Gleichheit zweier Schwärzungen, die deshalb nötige stetige Variation der einfallenden Intensitäten erreicht man am einfachsten durch lichtabsorbierende Keile. Leider haben diese eine spezifische Absorption.

Die Absorption eines Mediums wird gemessen durch die Opazität, das Verhältnis der einstrahlenden zur durchtretenden Intensität, sinngemäß zur diffus reflektierten bei Papieren. Der Logarithmus dieses Bruchs ist die Schwärzung. Nach dem Lambertschen Absorptionsgesetz ist $J_0/J_1 = e^{\alpha d}$, d die Schichtdicke, α die Absorptionskonstante. Beim Keil beträgt die Schichtdicke $l \cdot \operatorname{tg} \varphi$, wenn l die Basislänge und φ den Keilwinkel bezeichnet. Setzt man $\alpha \operatorname{tg} \varphi = k_0$, so wird

$$J_0/J_1 = \text{opac } l = e^{lk_0} = 10^{lk},$$

k nennt man die (dekadische) Keilkonstante.

Wir benutzen hier Keile der Firma Herlango, Wien, von 12 cm Länge und 3 cm Breite, die mit einer in 2 mm geteilten Skala versehen sind, so daß 1 Sensitometergrad gleich 1 mm ist. Diese Keile sind optisch trüb — das absorbierende Mittel ist eine mit Tusche gefärbte Gelatineschicht —, genügen aber hinreichend obigem Absorptionsgesetz.

Die Eichung der Keile geschieht absolut, d. h. es werden bestimmte Opazitäten durch Entfernungen hergestellt. Wir verfahren so: Schwärzungen, frei in 500 cm Entfernung von der Lichtquelle erzielt, werden verglichen mit Aufnahmen hinter dem Sensitometer in 20 und 200 cm Entfernung, und zwar werden die freien Aufnahmen zugleich mit der Sensitometerkopie durch Vorbeiphotographieren gewonnen, diese Paare von Aufnahmen

— auf 4,5 · 12 cm Platten bezw. Papieren, aus einer Platte geschnitten — zugleich entwickelt und fixiert. Man bekommt so die Opazitäten $\left(\frac{500}{200}\right)^2 = 6.25$ und $\left(\frac{500}{20}\right)^2 = 625$. Durch Aufsuchen identischer Schwärzung auf der Sensitometerkopie und dazugehörigen freien Aufnahme findet man sofort

$$\text{opac } n_1 = 625$$
$$\text{opac } n_2 = 6.25$$

daraus

$$\log \frac{\text{opac } n_1}{\text{opac } n_2} = 2 = k\,(n_1 - n_2),$$

$$k = \frac{2}{n_1 - n_2}.$$

Damit sind außer der Keilkonstanten, bezogen auf 1 Sensitometergrad, zwei Fixpunkte gewonnen. Wir berechnen die Opazität eines beliebigen Sensitometergrades n vom Fixpunkt 6.25 aus:

$$\log \text{opac } n^0 = \log 6.25 + k\,(n^0 - n_2{}^0),$$

und dies läßt sich in die Form bringen

$$\log \text{opac } n^0 = k\,(n + a).$$

Hierin gibt a an, um wieviel Grade der Nullpunkt der Sensitometerskala von der Keilkante mit der Absorption Null entfernt liegt. Es drückt sich in a der Lichtverlust durch Absorption und Reflexion in der Spiegelglasplatte des Sensitometers aus.

Das Ergebnis von fast 100 Versuchen ist dies: die Keilkonstante ist für jede Schicht und jede Lichtquelle eine andere. Die Verschiedenheiten der Lichtquellen gegen dieselbe Schicht liegen an der Grenze der Ablesemöglichkeit und können vernachlässigt werden. Wohl aber unterscheiden sich die Fixpunkte bezw. die Größen a für die verschiedenen Lampen. Man kann Bogen- und Wolfram-Punktlampe einerseits und die Osram- und 8 Volt-Nitra-Lampen andererseits zusammenfassen, die Differenz der Größen a für diese Gruppen beträgt etwa $2^1/_2{}^0$. Die photographischen Schichten lassen sich ebenfalls zwanglos in Gruppen ordnen. Am niedrigsten ist die Keilkonstante für hochempfindliche Bromsilberschichten, auch photomechanische Platten ge-

hören noch hierher, etwas größer ist sie für Bromsilberpapiere — gegen Bromsilberpapier eicht die Firma den Keil —, noch größer und zwar mit zunehmender Härte steigend für Gaslichtpapiere.

Die Apparatur für derlei Messungen besteht aus einer festen optischen Bank von 2,5 m Länge; durch kurze Zusatzbänke kann man an einen durchlaufenden Maßstab bequem jede Entfernung bis 5,5 m herstellen. Die Lampen, auf Reiter montiert, brennen in einem großen Lichtschutzkasten mit seitlichen Vorhängen und einer Öffnung mit Irisblende in der Stirnwand. Das Sensitometer ist in einem Rahmen mit geteiltem Deckel, ähnlich einem Kopierrahmen, derart eingebaut, daß hinter dem Sensitometer eine $4{,}5 \times 12$ cm-Platte, daneben noch eine ganze 9×12 cm-Platte Raum hat oder an ihrer Stelle die eine Hälfte des Strahlenkegels ungehindert vorbeistreicht. Der Rahmen ist auf Reiter befestigt und seitlich und in der Höhe verstellbar. Die freien Aufnahmen werden in einem Kamerarahmen mit Vorbau gegen Streulicht gemacht. Als Verschlüsse dienen: ein Pendelverschluß mit $^1/_2$-Sekundenpendel für Zeiten von $^1/_5$, $^1/_{10}$, $^1/_{50}$, $^1/_{100}$", ein Kompurverschluß, der von $^1/_{10}$" aufwärts brauchbar ist, ein elektromagnetisch gesteuerter Fallverschluß, der mit Baltzar-Uhr Zeiten von 1—10" gibt, und ein großer Görgenverschluß, der mit Stoppuhr benutzt wird. Ein großer Lichtschirm auf Reiter und eine sogenannte Tischiris besorgen die Abblendung.

Die Hauptfehlerquelle neben Streulicht sind die Halbschatten, die von der Kante des Sensitometers ausgehen und zunehmen, je breiter die Lichtquelle und je näher sie dem Sensitometer ist. Durch genügend große Verschlußöffnung und Herausrücken der Kamera aus der optischen Achse sind sie vermeidbar. Man muß sich nur immer durch Visieren von der Mattscheibenöffnung der Kamera aus überzeugen, daß die Lichtquelle in voller Ausdehnung auf die Aufnahme frei in 500 cm Entfernung wirkt. Durch besondere Versuche wurde festgestellt, daß der Strahlenkegel in der benutzten Ausdehnung genügend gleichmäßig ist und auch durch den Verschluß nicht gestört wird. Die Belichtungszeiten sind so zu wählen, daß die freien Aufnahmen eine gut vergleichbare Schwärzung bekommen.

Der Vergleich der Schwärzung wird bei Papieren mit einer Schlitzblende von 2 mm Breite bei Tageslicht am Fenster vorgenommen, so daß das Licht von vorn und oben einfällt. Durch Beschneiden werden die Schwärzungen unmittelbar aneinander gebracht. Platten werden in einem Betrachtungskasten von unten durch eine Milchglasscheibe beleuchtet, die Schwärzungen werden durch ein Hohldachprisma, wie es sich z. B. in Kolorimetern findet, zueinander hingebrochen. Das Prisma steckt in einem Rohrstutzen zur Fixierung der Blickrichtung, durch Schiebeblenden können Streifen von 1, 2 und 5 mm Breite eingestellt werden. Viel bequemer und genauer ist das Zeißsche Stufenphotometer, das Pulfrich in Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1925, Bd. 45 beschrieben hat. Es wird hierbei als Vergleichsmikroskop benutzt.

Mit dem geeichten Keil läßt sich der Glanz G so bestimmen: Wir lassen die Lichtquelle in der Entfernung R durch das Sensitometer auf eine Schicht einwirken, dann wiederholen wir die Aufnahme mit einer Normallampe in der Entfernung r bei gleicher Belichtungszeit. Zeigen die zugleich entwickelten Aufnahmen bei n^0 und N^0 gleiche Schwärzung, so müssen die Beleuchtungen b und B auf dem Sensitometer der Bedingung genügen

$$\frac{B}{\text{opac } N^0} = \frac{b}{\text{opac } n^0}.$$

Durch Einsetzen der Werte für die Keilopazitäten wird

$$\log \frac{B}{b} = k\,[(N + A) - (n + a)]$$
$$= k\,(\Delta + \Delta_a),\ \Delta = N - n$$
$$\Delta_a = A - a.$$

Benützen wir für die Normallampe die Zerlegung $b = J/r^2$, für die andere $B = \frac{G \cdot F}{R^2}$ (s. Kap. II), so wird

$$\log \frac{B}{b} = \log \frac{G \cdot F}{J} \cdot \frac{r^2}{R^2} = k\,(\Delta + \Delta_a)$$

und

$$\log G = \log \frac{R^2}{r^2} \cdot \frac{J}{F} + k\,(\Delta + \Delta_a).$$

Die Entfernung nimmt man so, daß Δ möglichst klein wird, damit die Fehler der Keilkonstanten kein zu großes Gewicht erhalten. Wir setzen hier für die Normallampen 30 cm, für Bogen- und Wolfram-Punktlampe 500 cm für die 8 Volt-Nitralampe 100 cm. Von der Nitralampe wird durch eine 3 mm breite Blende nur der mittlere Teil des Fadens verwertet, der zur Registrierung allein in Betracht kommt. Die Belichtungszeiten werden so gewählt, daß man im geeichten Gebiet des Keils bleibt. Die Größe der leuchtenden Flächen findet man durch Ausmessen eines Bildes von genau bekannter Vergrößerung.

Den höchsten Glanz zeigt die Bogenlampe mit Homogenkohlen, über 1100 HK/mm² gegen Bromsilberschichten. Die Wolfram-Punktlampe erreicht etwa den 20., die 8 Volt-Nitralampe den 30. Teil hiervon. Diese Lampe zeigt merklich individuelle Verschiedenheiten. Mit dem Alter nimmt ihr Glanz durch Abbrand zu, da der Wolframspiegel sich über dem Faden, also nicht in der Arbeitsrichtung niederschlägt. Wertvoll ist ihre Überlastbarkeit, bei 12 Volt steigt der Glanz auf das Dreifache, die Lebensdauer sinkt allerdings auf etwa 15 Stunden.

Zur Erledigung der anderen Hauptaufgabe, der Aufnahme von Schwärzungskurven, müssen Schwärzungen gemessen werden. Da Platten so gut wie immer kopiert werden, bestimmen wir deren Schwärzungen aktinometrisch. Die Methode besteht darin, daß die Schwärzungen neben dem geeichten Keil im Sensitometerrahmen auf Gaslichtpapier kopiert werden; Schwärzungen unter 1 werden besser in größerer Entfernung von der Lichtquelle als das Sensitometer nach der Methode des Vorbeiphotographierens behandelt. Genau so lassen sich beliebige andere Opazitäten — Gelbscheiben usw. — bestimmen, nur müssen trübe Medien, wie photographische Platten unmittelbar dem Gaslichtpapier anliegen. Die Belichtungszeit muß ausprobiert werden. Photometrisch gemessen mit einem Lummer-Brodhunschen Kontrastphotometer und zwei wegen der Lichtzerstreuung in der Plattenschicht gut mattierten Photometerlampen fallen dieselben Opazitäten etwas höher aus, das Verhältnis beträgt 8 : 7 bei Sigurd Photomechanischen Platten.

Zur Messung von Schwärzungen auf Papier benutzen wir einen Graukreisel, der unter 45° im Strahlenkegel einer regulierbaren Osram-Projektionslampe steht. Nahe vor der Kreiselscheibe und parallel zu ihr wird das zu messende Papier eingeklemmt, das oben beschriebene Prisma bringt die zu vergleichenden Flächen aneinander. Das Kreiselweiß ist ein glatter weißer Karton, das Kreiselschwarz ein Schwarzwollpapier. Zur Feststellung seiner Opazität gegen das Kreiselweiß (Normalweiß) wurde es gegen einen schwarzen Körper verglichen, ein etwa $^1/_2$ m langes, innen geschwärztes Rohr von 5 cm Durchmesser, das an seiner Stirnseite ein Fenster 1×1 cm trug. Vor diesem Loch rotieren Sektoren Normalweiß von 5°, 6° usw. So fand sich die Opazität des Wollschwarz zu 60. Liest man also für irgend eine unbekannte Opazität t° Weiß ab, so enthalten die $(360 - t)^0$ Wollschwarz noch $\left(\frac{360 - t}{60}\right)^0$ Normalweiß, t ist zu korrigieren auf $t' = t + \frac{360 - t}{60} = \frac{59}{60} t + 6$.

Die gesuchte Opazität ist $\frac{360}{t'}$, bezogen auf Normalweiß. Enthält das Normalweiß p Teile absolutes Weiß ($p < 1$), so enthalten t° Normalweiß $p \cdot t^0$ absolutes Weiß, die absolute Opazität ist $360/p \cdot t'$. Unser Normalweiß enthält 70% Barytweiß nach Ostwald, doch ist es nicht unbedingt nötig, die Reduktion hierauf vorzunehmen, da ja die Schwärzungen alle um denselben Betrag zu klein gemessen werden.

Die Messungen mit dem Kreisel sind sehr anstrengend, die Ergebnisse hängen stark von Übung, Disposition und Ermüdung ab. Zu beachten ist noch die Kürze dieser Opazitäts-Skala, die obere Grenze liegt bei 60, während Platten bis zu Opazitäten von über 10^6 anstandslos gemessen sind.

Die beschriebenen Methoden sind für den täglichen Gebrauch zu unhandlich. Wir haben uns deswegen Schwärzungsskalen für Platten und Papiere angelegt, Sätze von derart geeichten Schwärzungen, die das Gebiet von 0,1—2 umfassen in Stufen von rund 0,1. Damit sind wir praktisch immer ausgekommen.

Diese Methoden sind überholt durch das Pulfrichsche Stufenphotometer, das Schwärzungen auf Platten und Papieren sehr rasch und genau messen läßt. Zur Zeit dieser Untersuchungen stand uns aber dieses sehr kostspielige Instrument noch nicht zur Verfügung.

Zur Anlegung der Schwärzungskurve belichten wir die betreffende Schicht hinter dem Keilsensitometer mit der fünfkerzigen Normallampe im allgemeinen 60″ in 1 m Entfernung; nur Gaslichtpapiere verlangen größere Lichtmengen. Als Normalentwickler benützen wir Metol-Hydrochinon bei 18°. Die Entwicklungsdauer — 1—5′ — ist für jede Schicht auf Grund besonderer Versuche so bemessen, daß das Verhältnis zwischen Schwärzung und Grundschleier möglichst günstig ist. Die Ordinaten der Kurven sind die Schwärzungen von passend gewählten Feldern der Schwärzungsskalen, die Abszissen berechnen sich aus $\log \frac{Bt}{\text{opac } n^0}$, wo $B = \frac{J}{r^2}$, und opac n^0 sich auf das Sensitometerfeld bezieht, das auf der Kopie die gleiche Schwärzung ergibt, wie sie das betreffende Feld der Skala aufweist. Da der Zähler konstant ist, läuft die ganze Rechnung auf schrittweises Addieren von Vielfachen der Keilkonstanten hinaus, sobald die kleinste Abszisse ausgerechnet ist. Durch 6 Punkte ist die Kurve meistens hinreichend definiert.

Der Inhalt der Schwärzungskurve läßt sich im wesentlichen in zwei Größen fassen. Die eine ist die Neigung des mittleren geradlinigen Stücks. Die Tangens dieses Neigungswinkels nennen wir den Gradienten der Kurve, er gibt über die Härte der Schicht und damit über die zu erwartenden Kontraste Aufschluß. Er schwankt zwischen 0,6 bei alten Registrierfilmen und 2,7 bei photomechanischen Platten (Agfa). Die andere Größe bezeichnet die Lage der Kurve gegen die Abszissen und damit die Lichtempfindlichkeit der Schicht. Wir definieren mit Rücksicht auf die Verwendbarkeit: Empfindlichkeit wird gemessen durch das Tausendfache des reziproken Wertes von demjenigen $B \cdot t$ in Lux-Sekunden, das gemäß der Kurve die Schwärzung 1,0 hervorbringt. Nach unseren Festsetzungen über die aktinische Lichteinheit gilt diese Empfindlichkeit unab-

hängig von der Qualität der Lichtquelle. Ihr Zahlenwert bewegt sich zwischen 0,02 für harte Gaslichtpapiere und einigen Hundert für hochempfindliche Platten. Die Empfindlichkeit einer Marke wird von den Fabrikanten nicht sonderlich konstant gehalten, der Gradient schwankt viel weniger.

Zusammenfassung.

Auf Grund der Überlegung und Versuche über die in dieser Abhandlung berichtet ist, kann man nach Berücksichtigung der Lichtverluste in optischen Systemen bestimmen, welche Lichtquellen, welche Aperturen der Lichtbündel, welche Schichten nötig sind, um im Einzelfall den gewünschten Erfolg zu erzielen, ebenso aber auch, wo im allgemeinen die Grenzen der optischen Registrierung liegen.

Zum Schluß möchte ich nicht verfehlen, Herrn Geheimrat Frank für die Überlassung der Arbeit und die Unterstützung mit seiner großen experimentellen Erfahrung verbindlichst zu danken.

Lebenslauf.

Ich Alexander Karl Ernst Frhr. von Danckelman bin geboren am 21. Dezember 1898 in Montevideo (Uruguay) als Sohn des Freiherrn Otto von Danckelman und seiner Gemahlin Marie geb. Lepin. Ich besuchte von Ostern 1908 ab das Friedrichsgymnasium in Dessau und verließ es am 9. Juni 1916 mit dem Zeugnis der Reife. Am 15. Juni 1916 trat ich als Fahnenjunker im Kurhessischen Jäger-Batl. Nr. 11 in Marburg a. L. ein, wurde am 15. August 1917 zum Offizier befördert und nahm am 12. August 1919 meinen Abschied.

Vom Sommer 1919 an studierte ich in Marburg, Münster, Göttingen, Graz und München Medizin. Das Physikum bestand ich März 1921 in Göttingen, das Staatsexamen Ende 1923 in München. Von Januar 1924 ab war ich Medizinalpraktikant im städtischen Krankenhaus München r. d. I. Ich arbeitete auf der inneren Abteilung und in der Prosektur. Mit dem 9. Juli 1924 erhielt ich die Approbation als Arzt. Am 15. Oktober 1924 trat ich als Volontär-Assistent im Physiologischen Institut der Universität München ein, wurde am 1. Dezember 1924 Hilfsassistent und bekleide hier seit 1. April 1925 eine Assistentenstelle.